

*XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia
técnica*

IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas

IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens

XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia

23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Solos Colapsíveis no Semiárido Brasileiro

Larissa Ferreira da Silva

Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, larissa.ferreira@ufpe.br

Maria Júlia de Oliveira Holanda

Doutoranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, mariajulia.holanda@ufpe.br

Silvio Romero de Melo Ferreira

Docente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, silvio.mferreira@ufpe.br

RESUMO: O semiárido brasileiro possui como fator destaque o clima, ao qual estão adaptados a vegetação e os processos de formação dos solos. Nessa região, onde a taxa de evapotranspiração é maior que a taxa de infiltração, é possível observar a ocorrência de solos colapsíveis e há registros de sérios danos em construções assentes sobre estes solos. A fim de analisar as características e classificar quanto à colapsibilidade solos da região semiárida do Brasil por métodos de identificação diretos e indiretos, foram agrupadas neste estudo informações geotécnicas de 111 ocorrências de solos colapsíveis registradas na literatura, a partir da consulta ao Banco de Dados de Solos Especiais - BANDASE (FERREIRA, 1990). De um modo geral, os critérios de identificação empregados confirmaram o comportamento colapsível dos solos do semiárido brasileiro. No entanto, os métodos indiretos classificaram de forma insatisfatória o comportamento de alguns destes solos, não sendo suficientes para identificar o caráter colapsível dos solos.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, Solos Colapsíveis, Métodos Diretos, Métodos Indiretos.

ABSTRACT: The climate in the Brazilian semiarid region has the climate, which vegetation and the processes of soil formation are adapted to. In this region, where the evapotranspiration rate is greater than the infiltration rate, it is possible to observe the occurrence of collapsible soils and there are records of serious damages in constructions based on these soils. In order to analyze the characteristics and classify soil collapsibility in the semiarid region of Brazil by direct and indirect methods, geotechnical information from 111 occurrences of collapsible soils recorded in the literature was grouped in this study, based on the consultation of the Special Soils Database - BANDASE (FERREIRA, 1990). In general, the identification criteria used confirmed the collapsible behavior of soils in the Brazilian semiarid region. However, the indirect methods unsatisfactorily classified the behavior of some of these soils, not being enough to identify the collapsible character of the soils.

KEYWORDS: Semiarid, Collapsible Soils, Direct Methods, Indirect Methods.

1 Introdução

Na natureza, o solo pode ser encontrado na condição saturada e não saturada. Alguns solos não saturados, quando são submetidos a alteração de umidade, com ou sem sobrecargas, podem experimentar um rearranjo estrutural com redução de volume, apresentando um comportamento colapsível.

Os solos colapsíveis são solos de estrutura porosa ou instável, com partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos, que possuem origem recente e fácil drenagem em regiões úmidas com lixiviação de horizontes superficiais. Normalmente ocorrem em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas (FERREIRA, 2008).

Devido às condições climáticas favoráveis, a região semiárida do Brasil apresenta uma série de casos de problemas em obras de engenharia relacionadas a solos colapsíveis, principalmente em edificações,



barragens e canais. Nessa região já foram encontrados solos colapsíveis nos estados de Minas Gerais, Paraíba, Ceará, Bahia, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte.

Diante dos danos causados às edificações sobrejacentes a esses tipos de solos, a identificação de solos colapsíveis é uma etapa importante para o sucesso de projetos de engenharia, pois falhas nessa etapa podem levar à ruptura de obras ou à necessidade de recuperação. Assim, este trabalho tem o objetivo de contribuir com o agrupamento de informações sobre solos colapsíveis da região semiárida brasileira, a partir da análise de parâmetros geotécnicos e aplicação de métodos diretos e indiretos para classificação quanto à colapsibilidade.

1.2 Solos Colapsíveis

Em geral, os solos colapsíveis são constituídos de materiais que possuem granulometria variando de silte a areia fina ou uma mistura de areia fina, silte e argila, com predominância de areia fina, porém, não há uma faixa granulométrica específica para estes solos, visto que existem vários exemplos na literatura de solos colapsíveis predominantemente argilosos (SOUZA NETO, 2004; BATISTA e BANDEIRA, 2012; LEÃO, 2018). Esses solos caracterizam-se por apresentar uma estrutura macroporosa metaestável, onde partículas de grandes dimensões são mantidas em suas posições pela presença de algum vínculo (material e/ou tensão), que conferem uma resistência adicional temporária, cuja atividade é suscetível a uma redução total ou parcial (MENDONÇA, 1990).

A estrutura, o estado tensional associado a umidade e a aplicação de tensão externa em solos colapsíveis é a base do seu comportamento de variação de volume com a mudança de umidade ou sucção. Ferreira (1988) destaca que outros fatores além da trajetória de tensão, estrutura e umidade, influenciam o colapso, como a vazão de inundação, a velocidade de deformação de colapso e o tipo de permeante.

Diversos pesquisadores definiram critérios para identificar o comportamento colapsível dos solos, baseando-se em determinados índices, propriedades ou ensaios. Ferreira (1995) dividiu os métodos de identificação em dois grandes grupos: métodos indiretos e métodos diretos.

Os métodos indiretos estabelecem correlações entre as características do solo para indicar a potencialidade ao colapso estrutural, utilizando por exemplo, índices físicos, limites de consistência, parâmetros ligados à textura facilmente obtidos nos ensaios de campo e laboratório, tal como os critérios de Gibbs e Bara (1962) e Handy (1973), e também informações orientativas. Os métodos diretos, por sua vez, baseiam-se na medida do potencial de colapso e preveem os recalques do solo através da realização de ensaios edométricos, como os critérios de Reginatto e Ferrero (1973), Jennings e Knight (1975), Vargas (1978) e Lutenegeger e Saber (1988).

1.3 Características da Área de Estudo

De acordo com a Resolução Nº 107/2017 do Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o semiárido brasileiro atualmente é composto por 1.262 municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (Figura 1). O semiárido apresenta elevadas taxas de insolação, altas temperaturas e baixas amplitudes térmicas mensais, características típicas de regiões tropicais. É marcado por baixos totais pluviométricos, irregular distribuição da chuva no tempo e no espaço, altas taxas de evapotranspiração e elevado déficit hídrico (ZANELLA, 2014). Entretanto, há uma diversidade de ecossistemas no semiárido com variados microclimas e cerca de doze tipos diferentes de caatinga, o que configura diversas possibilidades econômicas, como a pecuária (caprinos, ovinos e bovinos de leite), as lavouras de sequeiro, áreas irrigadas, produção mineral, turismo e geração de energia renovável (EMBRAPA, 2013).

A região tem sido palco do desenvolvimento de vários polos agroindustriais nas últimas décadas, a partir das potencialidades produtivas da agricultura irrigada, especialmente as hortaliças e frutíferas, cujos mercados encontram-se em franca expansão no Brasil e no mundo. Mais de 90% das exportações de manga e uva são produzidas no semiárido, os rebanhos de caprinos e ovinos estão concentrados na região, bem como



a maioria das bacias leiteiras do Nordeste, que produz também sisal, mamona, algodão, feijão-de-corda, mel, entre outros produtos (EMBRAPA, 2013).

Com relação a geologia, cerca de 80% é de formação de rochas cristalinas, especialmente xistos e gnaisses. Quanto à geomorfologia, 85% da região semiárida é composta por depressões interplanálticas, também denominadas depressões sertanejas (CIRILO, 2008). A cobertura pedológica dessa região está intimamente relacionada com o clima, material de origem, vegetação e o relevo. Os solos de maior ocorrência são os das classes dos Latossolos e Argissolos (CORREIA *et al.*, 2011).

Souza Neto (2004), EMBRAPA (2005), Barbosa e Silva (2008), Batista e Bandeira (2012), Chagas *et al.*, (2020) afirmam que locais com deficiência hídrica, a exemplo do semiárido brasileiro, são os que possuem maior identificação de solos colapsíveis, uma vez que a ocorrência desses solos está relacionada às condições climáticas no qual ele foi desenvolvido e está atualmente inserido.

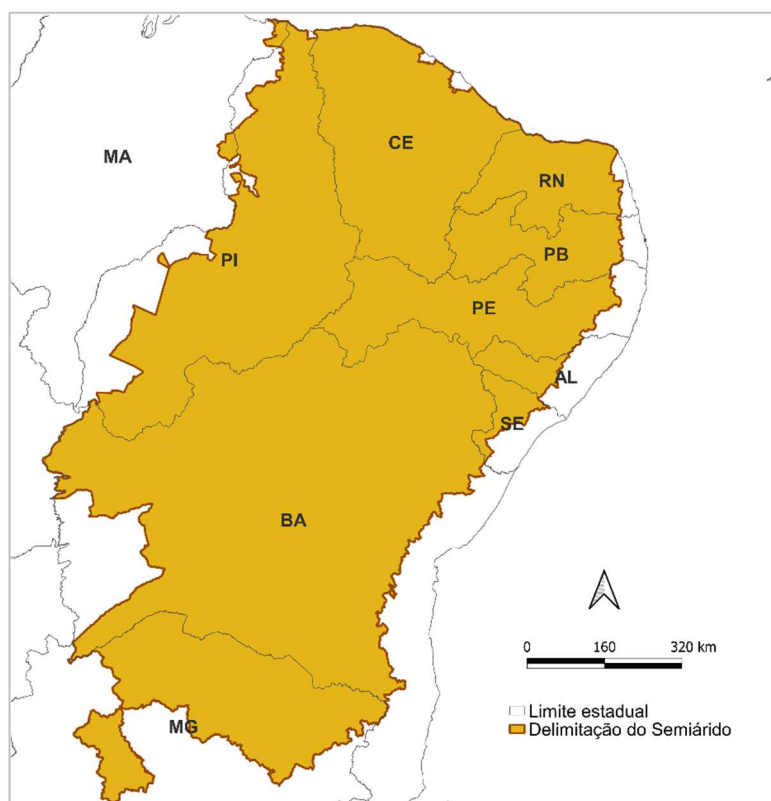


Figura 1. Delimitação atual do semiárido brasileiro. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

2 Materiais e Métodos

As características geotécnicas das amostras de solos colapsíveis da região semiárida do Brasil, que compõem essa pesquisa, foram obtidos a partir da consulta ao Banco de Dados de Solos Especiais - BANDASE (FERREIRA, 1990), que teve início em 1990 e desde então vem sendo atualizado pelo Grupo de Pesquisa de Solos Não-Saturados (GÑSAT) da Universidade Federal de Pernambuco, a partir de artigos de periódicos, simpósios e congressos, monografias, dissertações, teses e outras fontes técnicas disponibilizadas por empresas. Para fins desse estudo, as amostras de solos situadas nas mesmas coordenadas geográficas, porém coletadas em diferentes profundidades, foram consideradas registros distintos. As informações geotécnicas dos solos colapsíveis da região semiárida brasileira foram obtidas individualmente para cada amostra. No entanto, a análise das características, em cada método aplicado, foi realizada reunindo-se os dados por estado da região estudada. A classificação quanto à colapsibilidade dos solos do semiárido brasileiro foi realizada utilizando-se os métodos indiretos, de caráter qualitativo, de Gibbs e Bara (1962) e Handy (1973) e os critérios diretos, de caráter avaliativo e quantitativo, propostos por Reginatto e Ferrero (1973), Jennings e Knight (1975), Vargas (1978) e Lutenecker e Saber (1988).



3 Análises e Resultados

São identificados 111 registros de ocorrência de solos colapsíveis no semiárido brasileiro. Os locais de ocorrência de solos colapsíveis estão distribuídos entre 29 cidades da região: Parnaíba - PI; Teresina - PI; Icó - CE; Crato - CE; Juazeiro do Norte - CE; Barbalha - CE; Missão Velha - CE; Brejo Santo - CE; São Bento do Norte - RN; Areia - PB; Gravata - PE; Santa Cruz do Capibaribe - PE; Carnaíba - PE; Petrolândia - PE; Floresta - PE; Cabrobó - PE; Santa Maria da Boa Vista - PE; Petrolina - PE; Rodelas - BA; Casa Nova - BA; Vitória da Conquista - BA; Bom Jesus da Lapa - BA; Malhada - BA; Barreiras - BA; Águas Vermelhas - MG; Araçuaí - MG; Salinas - MG; Jenipapo de Minas - MG; Manga - MG. A maior quantidade de ocorrências foi registrada no estado de Pernambuco (43,24%), seguida pelos estados da Bahia (30,63%), Ceará (13,51%), Piauí (5,41%), Minas Gerais (5,41%), Paraíba (0,90%) e Rio Grande do Norte (0,90%). Algumas dessas amostras não apresentam todas as características geotécnicas necessárias para aplicação dos métodos diretos e indiretos propostos para avaliação da colapsibilidade.

Quanto à origem geológica, no semiárido brasileiro foram verificados solos colapsíveis no Complexo Carnaíba Remobilizado, Complexo Monteiro, Formação Barreiras, Formação Jatobá, Formação Tacaratu, Formação Vazantes e Aluviões, Grupo Bambuí e Grupo Macaúbas, observando-se solos aluviais, eólicos, colúvios e solos residuais.

Considerando o Sistema de Classificação Unificada dos Solos (S.U.C.S.), a grande parte dos solos analisados é classificada como areia argilosa (SC) e areia siltosa (SM), verificando-se também a ocorrência de argilas arenosas de baixa plasticidade (CL) e de areias mal graduadas/pedregulhosas (SP). Os valores de LL e IP das amostras de solos colapsíveis dos estados do semiárido brasileiro estão situados no entorno da Linha A e à esquerda da Linha B da Carta de Plasticidade ($LL < 50\%$), conforme apresenta a Figura 2b. Segundo Skempton (1953), a atividade das argilas desses solos varia de baixa a média (Figura 2a), sendo que as argilas de todas as amostras de solos da Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará apresentam baixa atividade, enquanto alguns solos do estado de Pernambuco apresentam atividade média.

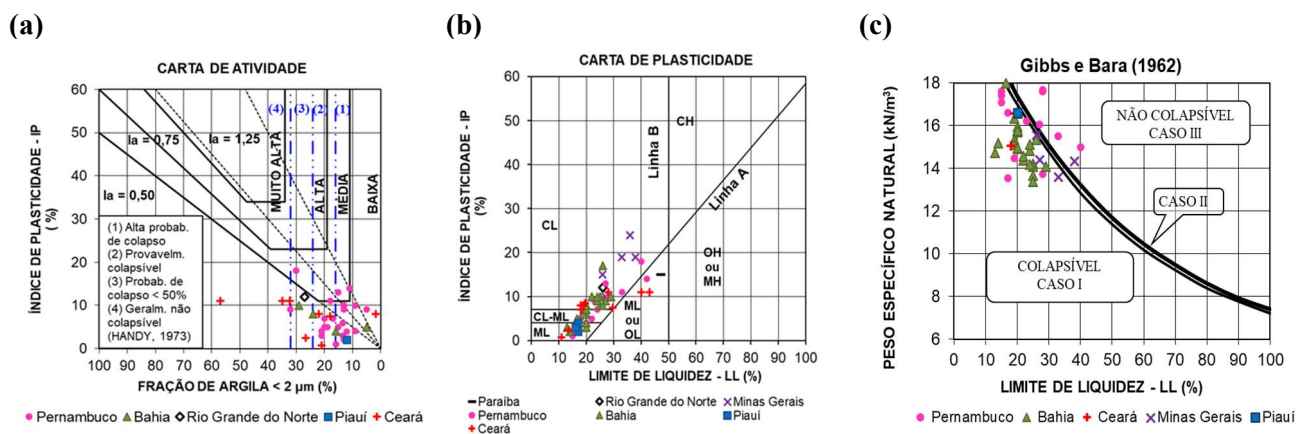


Figura 2. (a) Carta de atividade e Critério de Handy (1973). (b) Carta de plasticidade. (c) Critério de Gibbs e Bara (1962). Fonte: Os autores (2021).

A maioria das amostras se enquadra como colapsível de acordo com Handy (1973), Figura 2a, com a probabilidade de ocorrência de colapso variando de geralmente não colapsível a alta probabilidade de colapso. Pelo critério mencionado, os solos analisados do estado do Piauí apresentam alta probabilidade de colapso e os do Rio Grande do Norte apontam para probabilidade de colapso menor que 50%; na Bahia, a probabilidade de colapso varia de menor que 50% a alta probabilidade de colapso; no Ceará e em Pernambuco, a probabilidade de colapso vai de geralmente não colapsível a alta probabilidade de colapso. Alguns solos colapsíveis do semiárido brasileiro, mais especificamente dos estados de Pernambuco e Minas Gerais, foram classificados como não colapsíveis (caso III) pelo critério de Gibbs e Bara (1962), Figura 2c. No entanto, apenas esta classificação de caráter qualitativo não descarta a possibilidade de ocorrência de colapso.



A Figura 3 apresenta alguns resultados de ensaios edométricos duplos e simples, realizados em solos colapsíveis de Juazeiro do Norte – CE (XAVIER, 2018) e Teresina – PI (AQUINO, 2020), respectivamente. A avaliação da colapsibilidade de um solo por meio de ensaios edométricos leva em consideração as tensões atuantes e quantifica o potencial de colapso, sendo extensível a qualquer formação e tipo de solo, e servindo como base para a aplicação de métodos diretos de identificação.

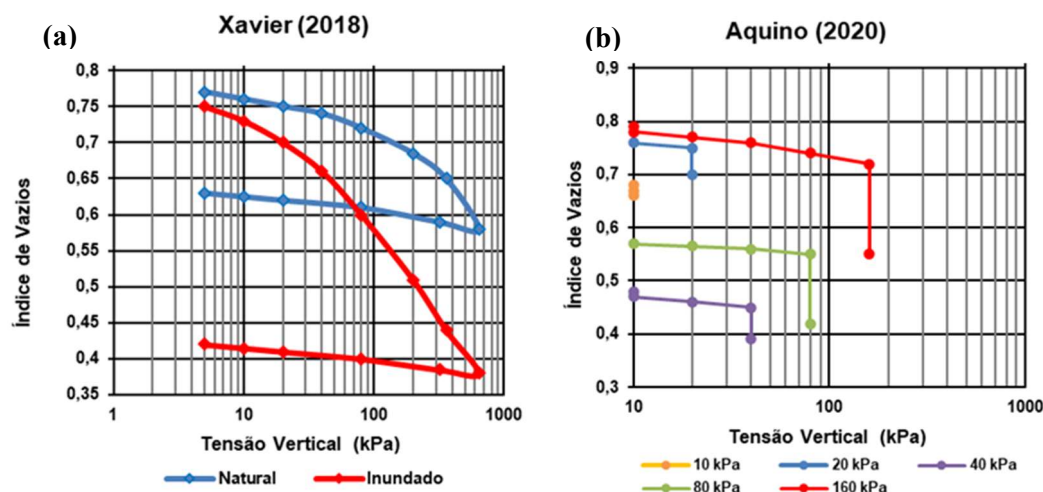


Figura 3. Ensaios edométricos duplos e simples de alguns solos colapsíveis do semiárido brasileiro: (a) Juazeiro do Norte – CE; (b) Teresina – PI. Fonte: Os autores (2021).

Os solos do semiárido brasileiro são condicionados ao colapso (75%) ou verdadeiramente colapsíveis (25%) segundo Reginatto e Ferrero (1973), Figura 4a. Nos estados do Ceará, Minas Gerais, Piauí e Rio Grande do Norte os solos são condicionados ao colapso (o colapso depende da tensão aplicada); na Bahia, 62,5% dos solos são verdadeiramente colapsíveis (colapsam sob o peso próprio) e 37,5% são condicionados ao colapso; em Pernambuco, predominam os solos condicionados ao colapso (75%), observando-se também ocorrências de solos verdadeiramente colapsíveis (25%).

Considerando a tensão de inundação de 200 kPa, segundo o critério de Jennings e Knight (1975), Figura 4b, os problemas em obras de Engenharia devido ao colapso nos estados do semiárido brasileiro apresentam-se da seguinte forma: Piauí – problema grave (50%), problemático (37,5%) e sem problema (12,5%); Minas Gerais – problema moderado (37,5%), problemático (37,5%), problema grave (12,5%) e sem problema (12,5%); Ceará – problema grave (100%); Bahia – problemático (62,5%), problema grave (25%) e sem problema (12,5%); Pernambuco – problema moderado (42,86%), problemático (33,33%) e problema grave (23,81%). De uma forma geral, pelo método mencionado, os solos colapsíveis analisados do semiárido brasileiro são classificados como problemático (37,31%), problema moderado (31,34%), problema grave (26,87%) e sem problema (4,47%).

Para Vargas (1978) todos os solos analisados são potencialmente colapsíveis, uma vez que apresentam um potencial de colapso (PC) superior a 2%, conforme apresenta a Figura 4c. No entanto, algumas amostras, para determinadas tensões, apresentam $PC < 2\%$.

Lutenegger e Saber (1988), para uma tensão de inundação de 300 kPa, classificam o grau de severidade dos possíveis danos em obras de engenharia assentadas sobre solos colapsíveis do semiárido brasileiro, Figura 4d: Piauí – grave (66,67%) e moderado (33,33%); Bahia – moderado (100%); Pernambuco – leve (50%), grave (42,86%) e moderado (7,14%); Minas Gerais – moderado (50%), leve (25%) e grave (25%). Em geral, pelo método mencionado, os danos associados ao colapso nos solos analisados do semiárido brasileiro são classificados como grave (40,91%), leve (36,36%) e moderado (22,73%).

É importante destacar que algumas amostras de solos colapsíveis do semiárido brasileiro, nomeadamente do estado de Pernambuco (FUCAL, 2000; SILVA, 2003), apresentam caráter expansivo, aumentando de volume quando inundados sob baixas tensões devido à absorção de água por parte dos agregados de partículas de argila, que possuem uma atividade na transição de baixa a média. A Figura 5 apresenta a variação do potencial de colapso/expansão dos solos mencionados.

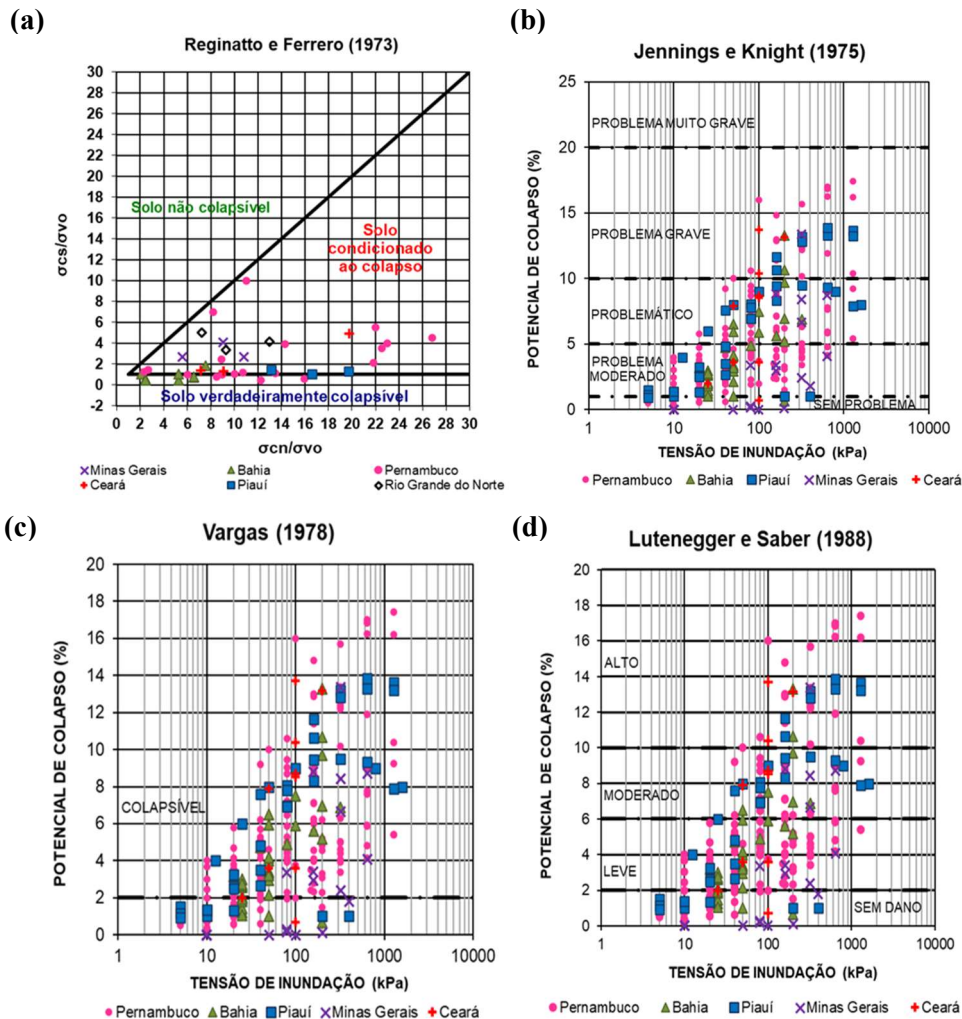


Figura 4. Métodos diretos de identificação aplicados aos solos colapsíveis do semiárido brasileiro: (a) Reginatto e Ferrero (1973); (b) Jennings e Knight (1975); (c) Vargas (1978); (d) Lutenegeger e Saber (1988).
Fonte: Os autores (2021).

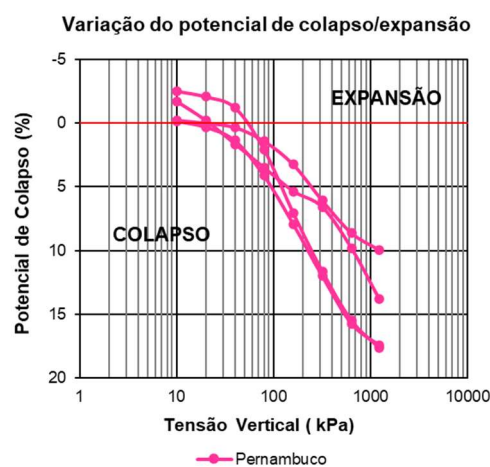


Figura 5. Variação do potencial de colapso/expansão de solos do semiárido brasileiro. Fonte: Os autores (2021).



5 Considerações Finais

No semiárido brasileiro há uma série de casos de problemas em obras de engenharia assentadas sob solos colapsíveis. Nessa região, a grande parte dos solos colapsíveis é de origem arenosa, porém verifica-se também algumas ocorrências do fenômeno de colapso em camadas de solos argilosos. Além disso, algumas amostras de solos de Pernambuco apresentaram comportamento expansivo para baixas tensões aplicadas (<50 kPa) quando inundadas e para tensões maiores, colapso.

De um modo geral, os métodos de identificação empregados confirmaram o comportamento colapsível dos solos do semiárido brasileiro. Porém, critérios indiretos, a exemplo de Gibbs e Bara (1962) e Handy (1973), classificaram de forma insatisfatória o comportamento de alguns destes solos. Por isso, ressalta-se que apenas a classificação por métodos indiretos não desqualifica o caráter colapsível dos solos.

Devido à instabilidade volumétrica desses solos associada à ausência, na maioria das vezes, de uma prévia investigação ou tratamento nas etapas de projeto e execução das obras, torna-se importante o reconhecimento das áreas de ocorrência e também a adoção de metodologias específicas e de um programa de investigação geotécnica adequado para avaliar o comportamento colapsível, utilizando técnicas de ensaios que simulem as condições a que o solo será submetido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino, A. E. B. (2020) *Contribuição à cartografia geotécnica no município de Teresina-PI: cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 198 p.
- Barbosa, I. M.; Silva, J. R. G. (2018) *Estudo de caso de colapso em solos tropicais - para um ponto na região norte de Anápolis*. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Unievangélica, 91p.
- Batista, W. F. B.; Bandeira, A. P. N. (2012) Estudo do potencial de colapso do solo de fundação do campus da UFC/CARIRI. In: Encontro Universitário da UFC no Cariri, 4. Juazeiro do Norte. *Anais...* UFCA, 5p.
- Chagas, G. S. et al. (2020) Contribuição para diagnóstico e solução de solos não saturados colapsivos e expansivos para aplicação em fundações. *Geotecnia*, 149 (1), p. 67-83.
- Cirilo, J. A. C. (2008) Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, 22 (1), p.61-82.
- Correia, R. C. et al. (2011) A região semiárida brasileira. *Produção de caprinos e ovinos no semiárido*, Embrapa semiárido, Petrolina, cap. 1, 553p.
- EMBRAPA (2005) *Principais solos do semi-árido do nordeste do Brasil "Dia de Campo"*. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34392/1/OPB1114.pdf>>. Acesso:09 dez. 2021.
- EMBRAPA (2013) “‘O semiárido pode produzir e viver com mais qualidade’, diz presidente da Embrapa”. Notícias. Entrevista concedida ao Jornal Correio da Bahia. Julho, 2013.
- Ferreira, S. R. M. (1988) *Solos Especiais – Colapsíveis, Dispersíveis, Expansíveis*. Relatório Final CNPQ, Recife, 156 p.
- Ferreira, S. R. M. (1990) Banco de Dados de Solos Especiais - Colapsíveis do Estado de Pernambuco. In: COBRAMSEG, 9., Salvador. *Anais...* ABMS. v.2, p. 81-86.



- Ferreira, S. R. M. (1995) *Colapso e Expansão de Solos Naturais Não Saturados Devido à Inundação*. 400p. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 400 p.
- Ferreira, S. R. M. (2008) Solos colapsíveis e expansivos: uma visão panorâmica no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 6., Salvador. *Anais...ABMS*. v. 2, p. 593-619.
- Fucale, S. P. (2000) *Comportamento de variação de volume devido à inundação em alguns solos colapsíveis do estado de Pernambuco*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 138 p.
- Gibbs, H.J.; Bara, J.P. (1962) *Predicting surface subsidence from basic soil tests*. Special Technical Publication. nº 322, ASTM, Philadelphia.
- Handy, R.L. (1973) Collapsible loess in Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 37 (2), p. 281-284.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). *Semiárido Brasileiro*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto>> Acesso em: 08 out. 2021.
- Jennings, J.E.; Knight, K. (1975) A Guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to a collapse of grain structure. In: Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6., Durban. *Proceedings...* A. A. Bakelma, p. 99-105.
- Leão, M. F. (2018) *Fundamentos da mecânica dos solos*. Editora e Distribuidora Educacional S.A., Londrina, 216 p.
- Lutenegger, A. J.; Saber, R. T. (1988) Determination of Collapse Potential of Soils. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 11 (3), p. 173-178.
- Mendonça, M. B. (1990) *Comportamento de Solos Colapsíveis da Região de Bom Jesus da Lapa – Bahia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 218 p.
- Reginatto, A. R.; Ferrero, J. C. (1973) Collapse potential of soils and soil-water chemistry: Conference. In: International conference on soil mech. Found. Engineering, 8., Moscow. *Anais.. Pergamon*. v.2, p. 177-183.
- Silva, M. J. R. (2003) *Comportamento geomecânico de solos colapsíveis e expansivos em Petrolina-PE: Cartas de suscetibilidade*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 124 p.
- Souza Neto, J. B. (2004) *Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso)*. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 432 p.
- Vargas, M. (1978) *Introdução à Mecânica dos Solos*, 1.ed., McGraw Hill do Brasil, São Paulo, p. 67-71.
- Xavier, J. M. (2018) *Estudo do comportamento geotécnico de um solo colapsível voltado para fundações superficiais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Pernambuco, 176 p.
- Zanella, M. E. (2014) Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, v. especial (36), p. 126-142.